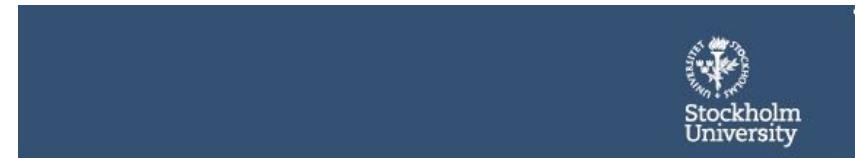


Summary of PhD thesis of Seméli Papadogiannakis for the non-astronomer.

Περίληψή της διδάκτορικής διάτριβής του Σεμέλη Παπαδογιαννάκη για το μή-αστρονόμο

Sammanfattning Seméli Papadogiannakis doktorsavhandling för icke-astronomen.

Resumen de la tesis doctoral de Seméli Papadogiannaki para no astrónomos.



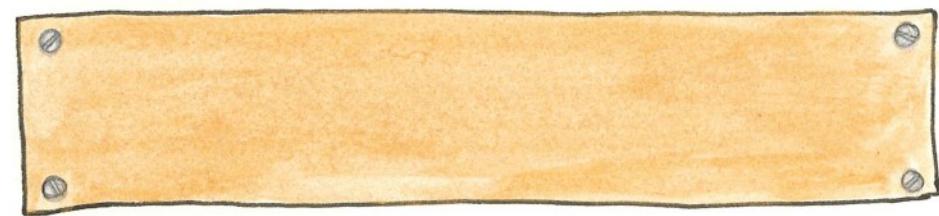
Properties of Type Ia Supernovae

from the (intermediate) Palomar Transient Factory

Seméli Papadogiannakis



Doctoral Thesis in Physics at Stockholm University, Sweden 2019



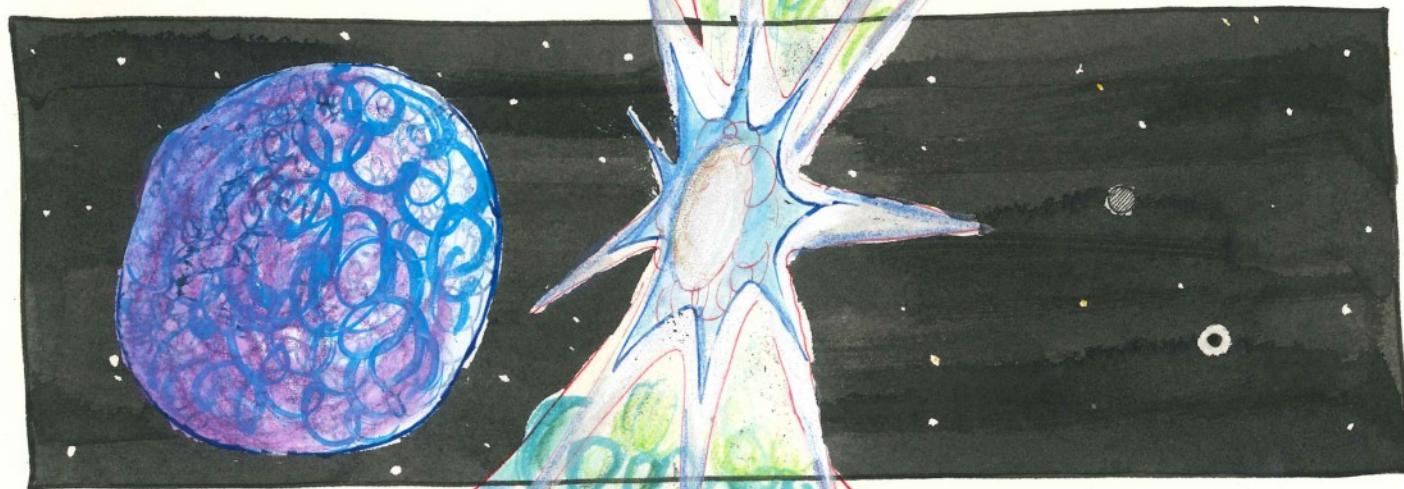
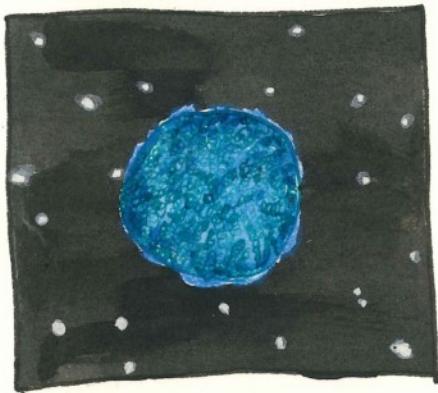
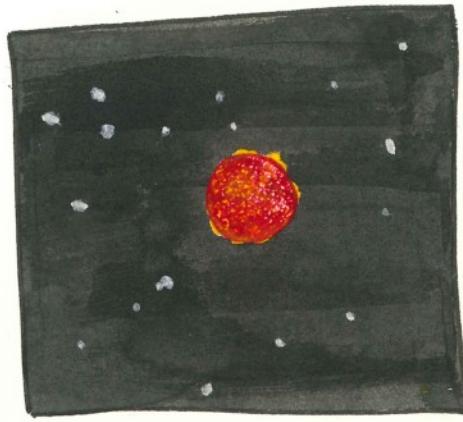


Draw a supernova!

Ζωγραφίστε μια σουπερνόβα!

Rita en supernova!

¡Dibuja una supernova!

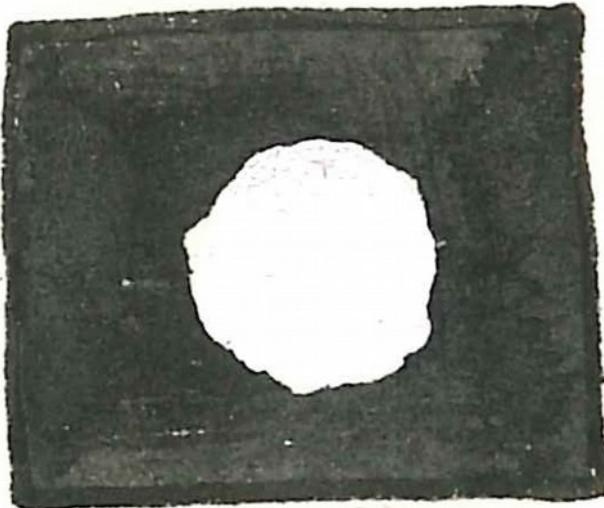


Stars are born from a cloud of gas and dust that collapses into a star. The mass of the star determines its lifespan and death. Massive stars are blue and die young in spectacular supernovae explosions leaving behind a neutron star or a black hole. Less massive stars are red, live much longer and have a less explosive end of their lives. They leave behind beautiful nebulae and a white dwarf. From the material expelled from these dead and dying stars new stars are born.

Τα αστέρια γεννιούνται από ένα σύννεφο αερίου και σκόνης που καταρρέει σε ένα αστέρι. Η μάζα του άστρου καθορίζει τη διάρκεια ζωής και το θάνατό του. Τα αστέρια μεγάλης μάζας είναι μπλε και πεθαίνουν νεαρά σε εντυπωσιακές εκρήξεις υπερχαίνοφανών (σουπερνόβα) που αφήνουν πίσω τους ένα αστέρι νετρονίων ή μια μαύρη τρύπα. Τα λιγότερο ογκώδη αστέρια είναι κόκκινα, ζουν πολὺ περισσότερο και έχουν λιγότερο εκρηκτικό τέλος της ζωής τους. Αφήνουν πίσω τα όμορφα νεφελώματα κι ένα λευκό νάνο. Από το υλικό που απελευθερώνεται από αυτά τα νεκρά κι ετοιμοθάνατα αστέρια γεννιούνται νέα αστέρια.

Stjärnor föds ur ett moln av gas och damm som kollapsar och bildar stjärnan. Den nya stjärnans massa bestämmer livslängden och död. De mest massiva stjärnorna är blå och dör unga i spektakulära supernovaexplosioner som lämnar efter sig en neutronstjärna eller ett svart hål. Mindre massiva stjärnor är röda, lever mycket längre och har ett mindre explosivt slut på livet. De i sin tur lämnar bakom sig en vacker nebulosa och en så kallad vit dvärg. Från det material som sprids från dessa döda och döende stjärnor föds nya stjärnor.

Las estrellas nacen en una nube de gas y polvo que colapsa en forma de estrella. La masa de la estrella determina su esperanza de vida, y su muerte. Las estrellas masivas son azules y mueren jóvenes en espectaculares supernovas que dejan una estrella de neutrones o un agujero negro. Las estrellas menos masivas son rojas, viven mucho más tiempo y tienen un final de vida menos explosivo. Dejan atrás hermosas nebulosas y enanas blancas. Del material expulsado de las estrellas muertas y moribundas nacen nuevas estrellas.



The white dwarfs are stable and cool off if left alone. This is the fate that awaits our sun in about 5 billion years.

Οι λευκοί νάνοι είναι σταθεροί και παγώνουν αν μείνουν μόνοι τους. Αυτή είναι η μοίρα που περιμένει τον ήλιο μας σε περίπου 5 δισεκατομμύρια χρόνια.

De vita dvärgarna är stabila och svalnar om de lämnas ensamma. Detta är samma öde som väntar vår sol om cirka 5 miljarder år.

Las enanas blancas son estables y se enfrián si se las deja solas. Este es el destino que aguarda a nuestro sol en unos cinco mil millones de años.

But approximately half of all stars are not born alone.

Αλλά περίπου το ήμισυ όλων των αστεριών δε γεννιούνται μόνα τους.

Ungefär hälften av alla stjärnor är dock inte ensamma.

Pero aproximadamente la mitad de todas las estrellas no nacen solas.



This can make the otherwise stable white dwarf to explode in a special type of supernova-a type Ia supernova. These type of supernovae were the focus of the thesis.

Αυτό μπορεί να κάνει τον κατά τα άλλα σταθερό λευκό νάνο να εκραγεί σε ένα ειδικό τύπο σουπερνόβα – σουπερνόβα Ia. Αυτοί οι τύποι ήταν το επίκεντρο της διατριβής.

Detta fenomen kan göra att den annars stabila vita dvärgen exploderar på ett speciellt sätt som kallas supernova typ Ia. Dessa typer av supernova explosioner har varit fokus för denna avhandling.

Esto puede hacer que la enana blanca, de otra manera estable, explote en un tipo especial de supernova: una supernova de tipo Ia. Este tipo de supernovas fueron el foco de la tesis.

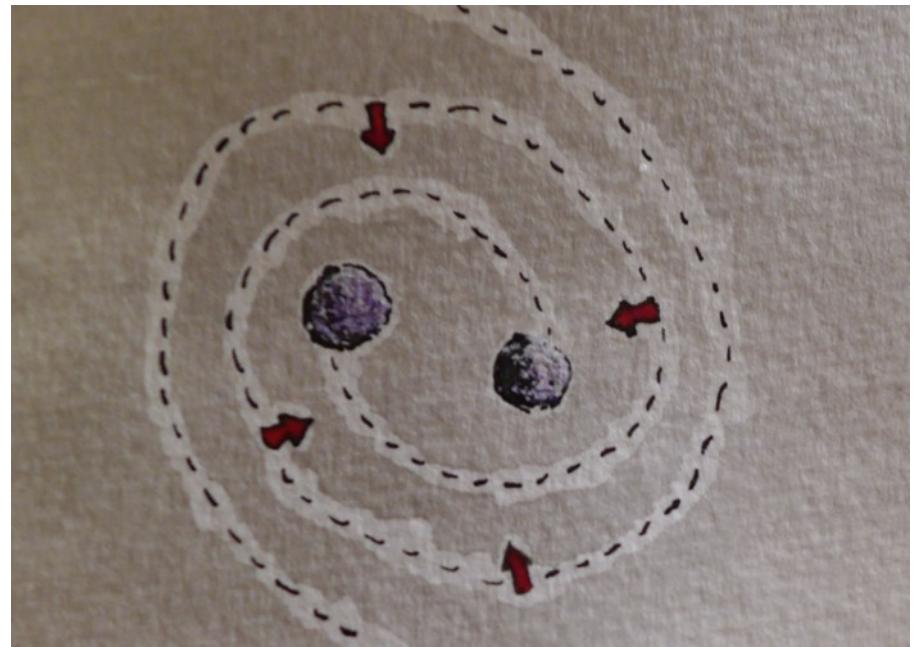


We don't know what causes the type Ia supernova explosion, but we think it is either two white dwarfs colliding or one white dwarf and a star that gives some of its outer material to the white dwarf.

Δε ξέρουμε τι προκαλεί την έκρηξη σουπερνόβα τύπου Ia, αλλά νομίζουμε ότι είναι είτε δύο λευκοί νάνοι που συγχρούονται είτε ένας λευκός νάνος κι ένα αστέρι που δίνει μέρος του εξωτερικού του υλικού στο λευκό νάνο.

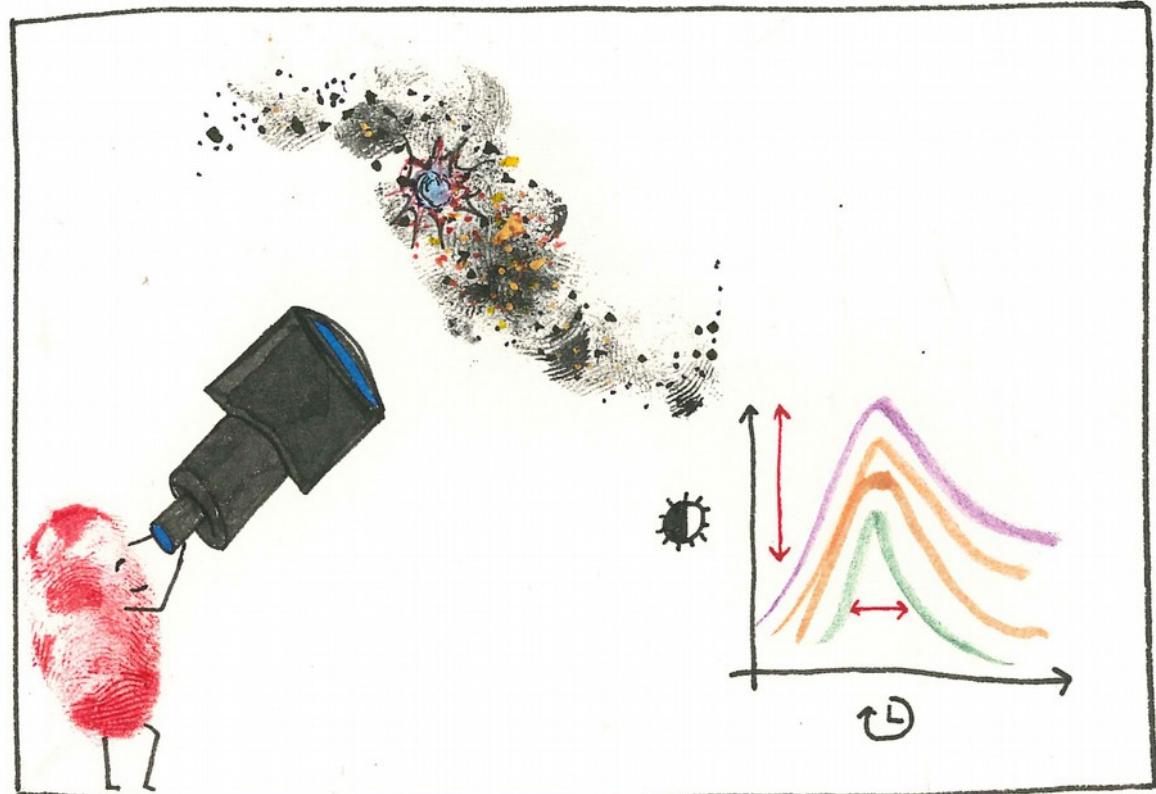
Vi vet alltså inte säkert vad som orsakar typ Ia supernova explosionen, men vi tror att det är antingen två vita dvärgar som kolliderar, eller att en vit dvärg och en stjärna påverkar varandra till att utlösa explosionen.

No sabemos qué causa la explosión de supernova tipo Ia, pero creemos que son dos enanas blancas que chocan o una enana blanca y una estrella que le da algo de su material exterior a la enana blanca.



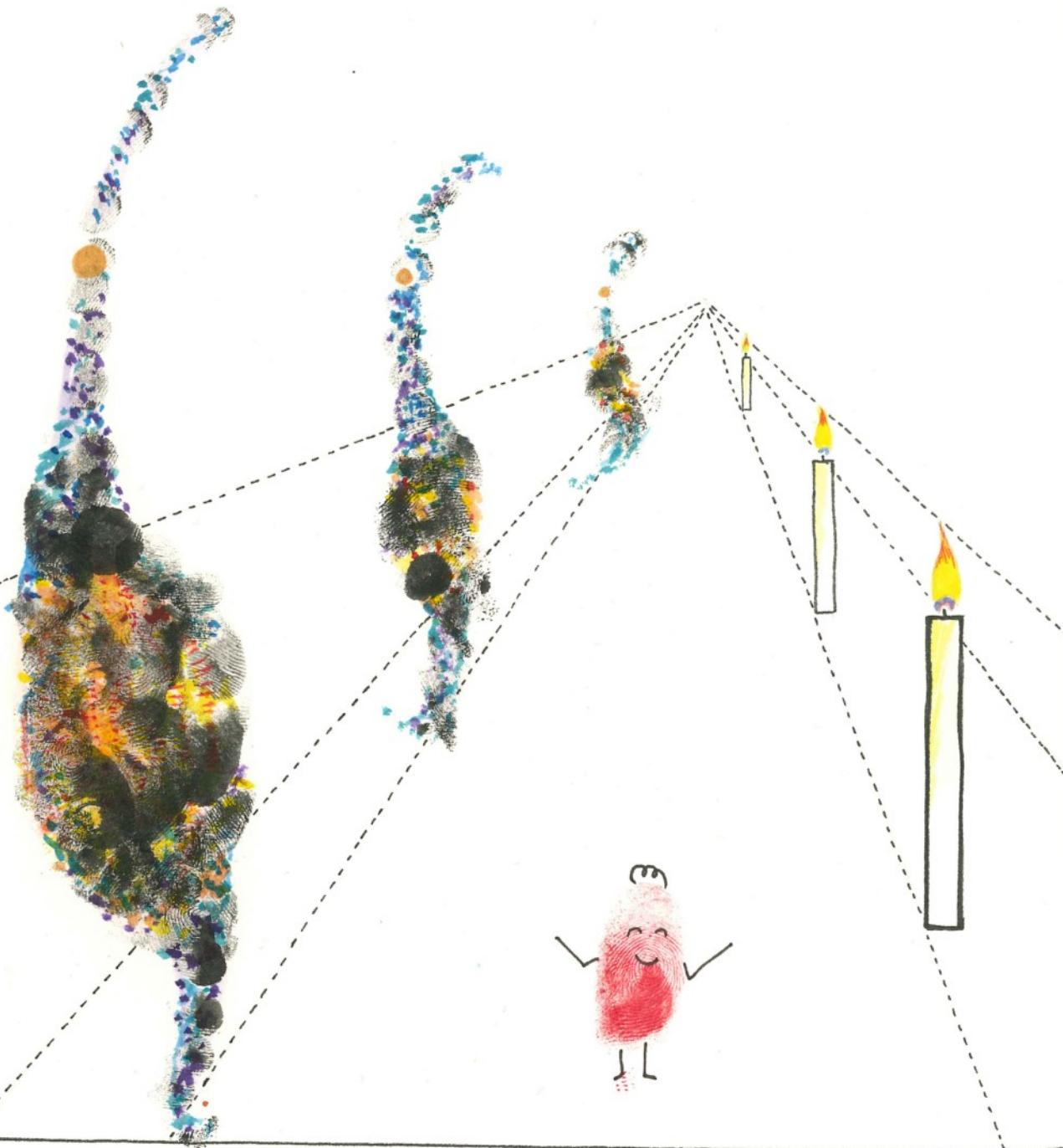
Despite the unknown origin of type Ia supernovae, they possess a very special property. If you make a correction of their light-curve (how the light changes with time) their brightness is the same for all supernovae Ia.

Παρά την άγνωστη προέλευση των υπερκαινοφανών τύπου Ia διαθέτουν μια πολύ ξεχωριστή ιδιότητα. Εάν κάνετε μια διόρθωση της καμπύλης φωτός τους (πως μεταβάλλεται το φως με το χρόνο) η φωτεινότητά τους είναι η ίδια για όλους τους υπερκαινοφανείς τύπου Ia.



Trots det okända ursprunget av typ Ia-supernova, har de mycket specifika egenskaper. Om man studerar explosionens ljuskurva (hur ljuset ändras med tiden) är ljusstyrkan densamma vid själva explosionen för alla supernovor av typ Ia.

A pesar de que no sabemos con exactitud cuál es el origen de las supernovas de tipo Ia, estas poseen una propiedad muy especial. Si se realiza una corrección de su curva de luz (cómo cambia la luz con el tiempo), su brillo es el mismo para todas las supernovas Ia.



Since we know they have the same brightness (with the correction) we can find out how far away the supernova is, just like we know how far away a candle is since we know how bright it is supposed to be.

Δεδομένου ότι γνωρίζουμε ότι έχουν την ίδια φωτεινότητα (με τη διόρθωση) μπορούμε να ανακαλύψουμε πόσο μακριά είναι η σουπερνόβα, με τον ίδιο τρόπο που γνωρίζουμε πόσο μακριά είναι ένα κερί αν ξέρουμε πόσο λαμπερό θα έπρεπε να είναι..

Eftersom vi vet att de har samma ljusstyrka (med rättelsen) kan vi förstå hur långt avståndet är mellan oss och supernovorna.

Como sabemos que tienen el mismo brillo (con la corrección) podemos descubrir cómo de lejos está la supernova, al igual que sabemos cómo de lejos está una vela sabiendo cómo de brillante es.



We also know how fast the supernova is travelling from us by looking at its spectrum and how much redder it is than it would have been if it was standing still (called redshift). A rainbow is an example of a natural spectrum.

Γνωρίζουμε επίσης πόσο γρήγορα η σουπερνόβα απόμακρύνεται από εμάς κοιτάζοντας το φάσμα της και το πόσο πιο κόκκινη είναι απ' ότι θα ήταν αν έμενε ακίνητη (η λεγόμενη ερυθρή μετατόπιση).

Vi vet också hur snabbt supernovorna rör sig från oss genom att studera deras spektrum. Det kan jämföras med regnbågar som visar på ett naturligt spektrum.

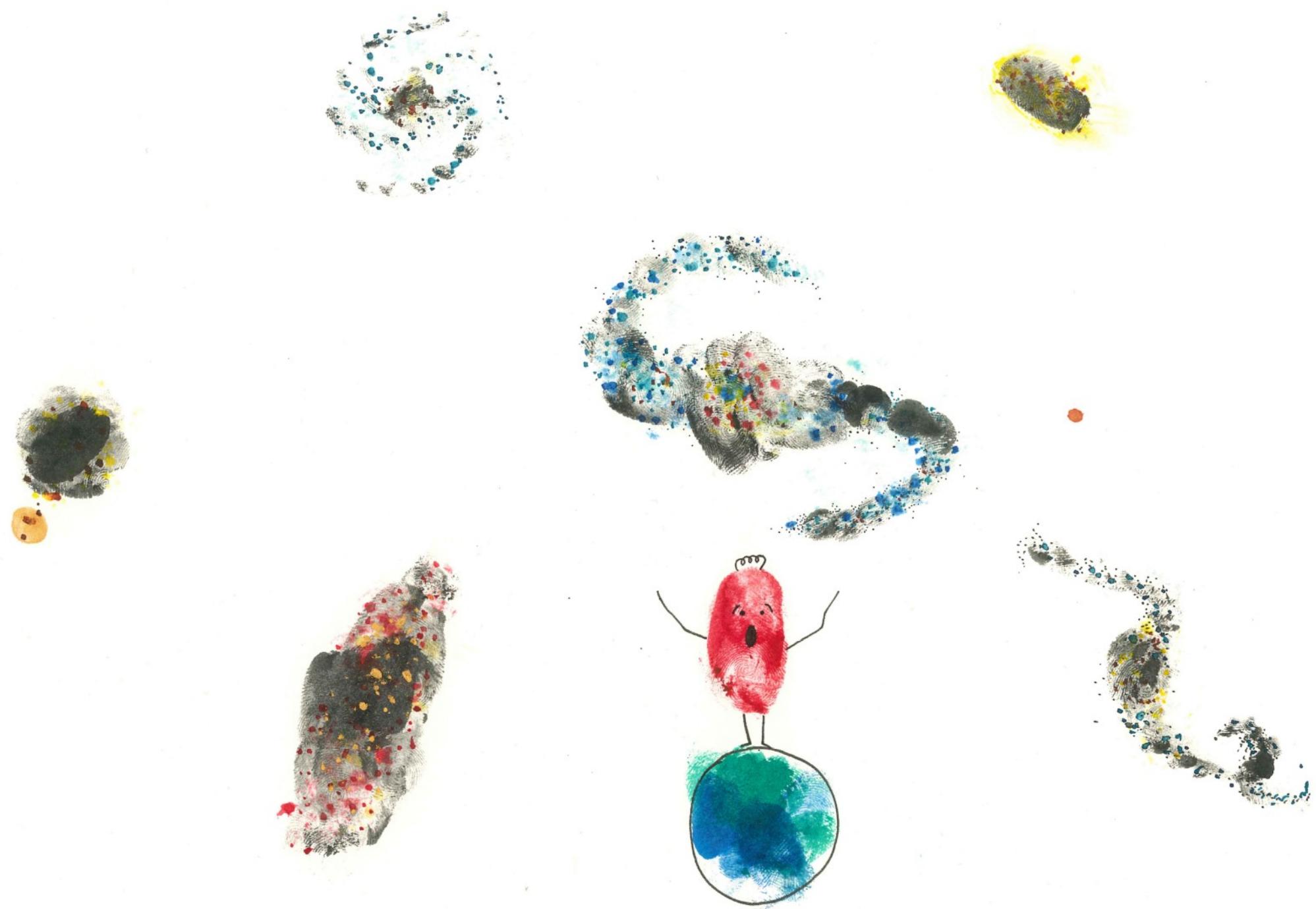
También sabemos la velocidad de la supernova al observar su espectro. Cuanto más corrido hacia el rojo esté, más rápido se aleja de nosotros. Un arcoiris es un ejemplo de un espectro natural.

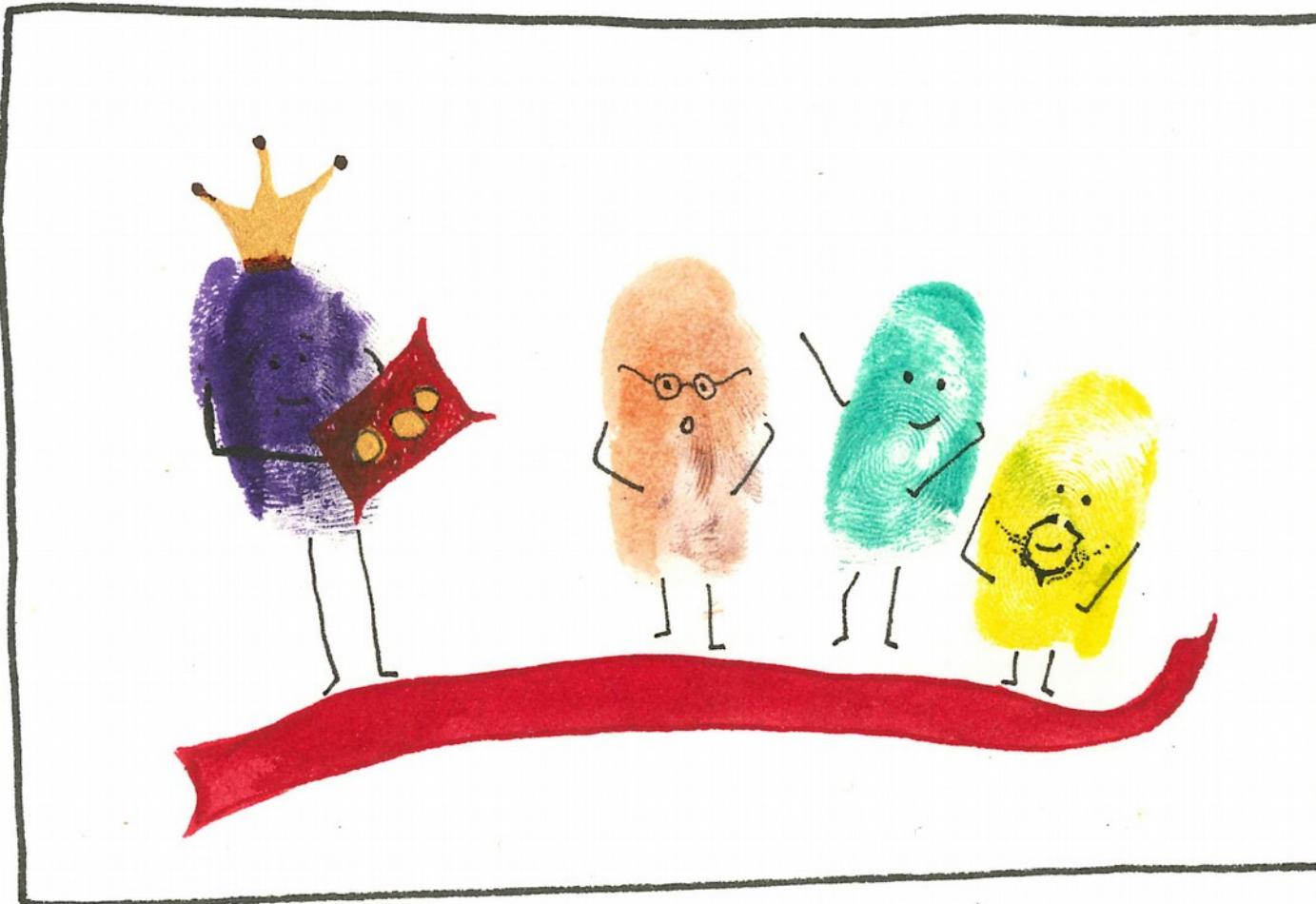
When looking at both the brightness which gives the distance of the supernova and the redshift astronomers found that the further away the supernova the faster it travelled away from us. This means that the universe is not only expanding but accelerating in its expansion!

Κοιτάζοντας τη φωτεινότητα που δίνει την απόσταση της σουπερνόβα και την ερυθρή μετατόπιση οι αστρονόμοι βρήκαν ότι όσο πιο μακριά βρίσκεται η σουπερνόβα τόσο πιο γρήγορα απομακρύνεται από εμάς. Αυτό σημαίνει ότι το σύμπαν όχι μόνο διαστέλεται αλλά επιταχύνει τη διαστολή του!

När vi tittar på både ljusstyrkan som ger avståndet till supernovan och de rödskift som astronomerna funnit visar att ju längre bort supernovorna är desto snabbare rör de sig bort från oss. Det betyder att universum inte bara expanderar utan också accelererar i sin expansion!

Cuando los astrónomos compararon el brillo de la supernova (que nos da la distancia) y el corrimiento al rojo (que nos da la velocidad), descubrieron que cuanto más lejos está la supernova, más rápido se aleja de nosotros. ¡Esto significa que el universo no sólo se está expandiendo, sino que la expansión se está acelerando!





In 2011 this important discovery was awarded the Nobel price in Physics to Saul Perlmutter, Brian P. Schmidt, and Adam G. Riess.

Το 2011 αυτή η σημαντική ανακάλυψη έλαβε το βραβείο Νόμπελ στη Φυσική
(Saul Perlmutter, Brian P. Schmidt και Adam G. Riess).

År 2011 fick denna viktiga upptäckt Nobelpriset i fysik till
Saul Perlmutter, Brian P. Schmidt och Adam G. Riess.

En 2011 este importante descubrimiento fue galardonado con el Premio Nobel de Física,
recibido por Saul Perlmutter, Brian P. Schmidt y Adam G. Riess.

In my thesis I looked closer into a large sample of type Ia supernovae to see if I could find ways to make them better standard candles by for example finding out the cause of the explosions.

Στη διδακτορική μου διατριβή ερεύνησα από κοντά ένα μεγάλο δείγμα υπερχανοφανών τύπου Ia για να δω αν μπορούσα να βρω τρόπους να τους κάνω καλύτερα ‘κοσμικά κεριά’ για παράδειγμα ανακαλύπτοντας την αιτία των εκρήξεων.

I min avhandling tittade jag närmare på ett stort urval av typ Ia-supernovor för att se om jag kunde hitta sätt att förtydliga dem via standardiserade ljuskurvor och även genom att försöka ta reda på orsaken till explosionerna.

En mi tesis, observé de cerca una gran muestra de supernovas de tipo Ia para ver si podía encontrar formas de hacerlas mejores velas estándar, por ejemplo, descubriendo la causa de las explosiones.



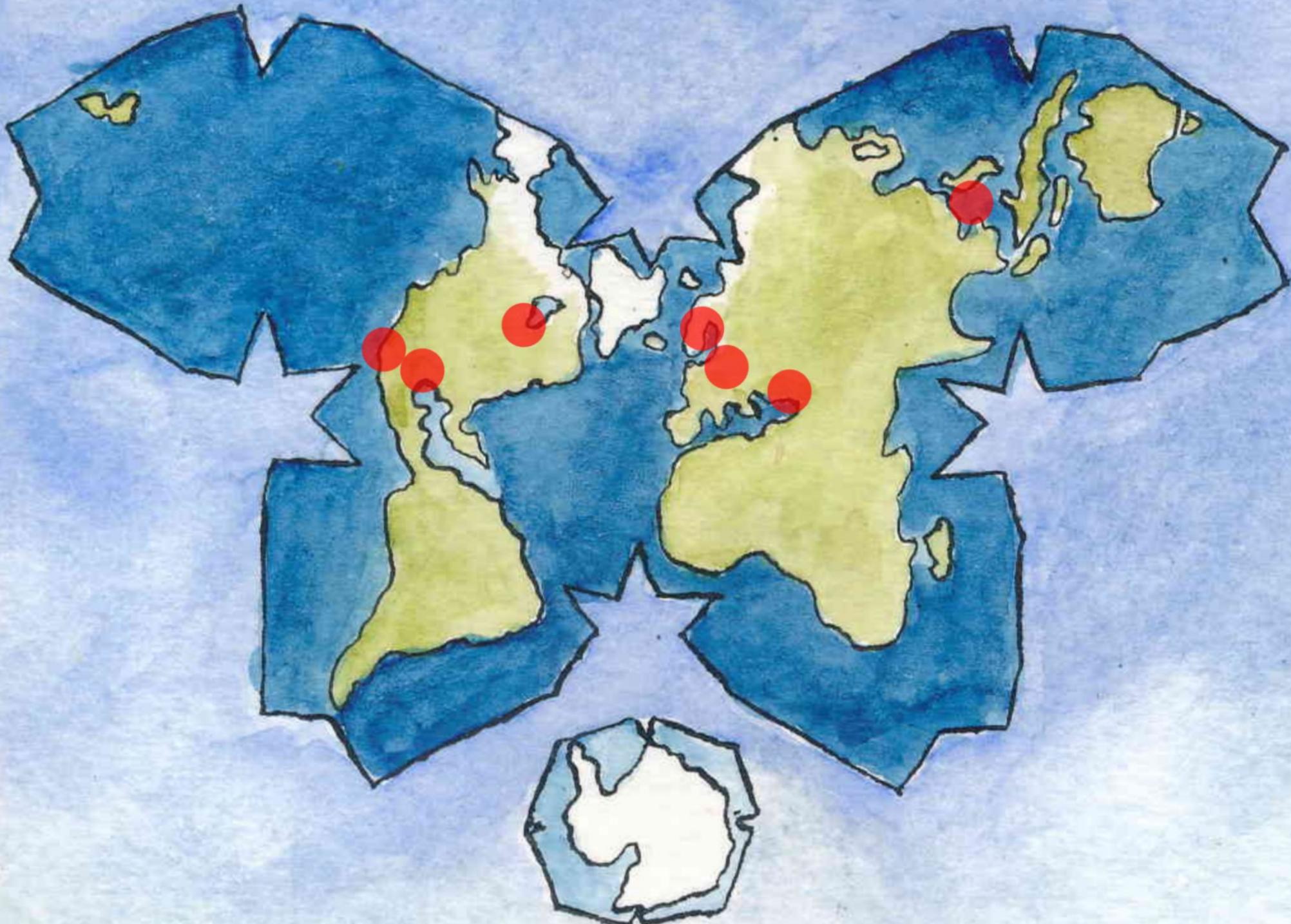
The bulk of the data in the thesis comes from Palomar Observatory in California, USA, as part of the Palomar Transient Factory (PTF) and intermediate Palomar Transient Factory (iPTF) collaboration. PTF and iPTF have members from all over the world working together to discover and follow up supernovae and other new things that appear on the sky.

Το μεγαλύτερο μέρος των δεδομένων στη διατριβή προέρχεται από το Palomar Observatory στην Καλιφόρνια των ΗΠΑ, τμήμα της συνεργασίας μεταξύ του Palomar Transient Factory (PTF) και του intermediate Palomar Transient Factory (iPTF). Το PTF και το iPTF έχουν μέλη από όλο τον κόσμο που εργάζονται μαζί για να ανακαλύψουν και να παραχολουθούν υπερχανοφανείς και άλλα νέα πράγματα που εμφανίζονται στον ουρανό.

Huvuddelen av data i avhandlingen kommer från Palomar Observatory i Kalifornien, USA, som är en del av Palomar Transient Factory (PTF) och mellanliggande Palomar Transient Factory (iPTF) i samarbete. PTF och iPTF har medlemmar från hela världen som arbetar tillsammans för att upptäcka och följa upp supernovor och andra nya fenomen som syns på himlen.

La mayor parte de los datos de la tesis provienen del Observatorio Palomar en California, EE. UU., como parte de la colaboración de la Fábrica de Tránsitos de Palomar (PTF) y la Fábrica Intermedia de Tránsitos de Palomar (iPTF). PTF e iPTF tienen miembros de todo el mundo que trabajan juntos para descubrir y hacer un seguimiento de las supernovas y otras cosas nuevas que aparecen en el cielo.



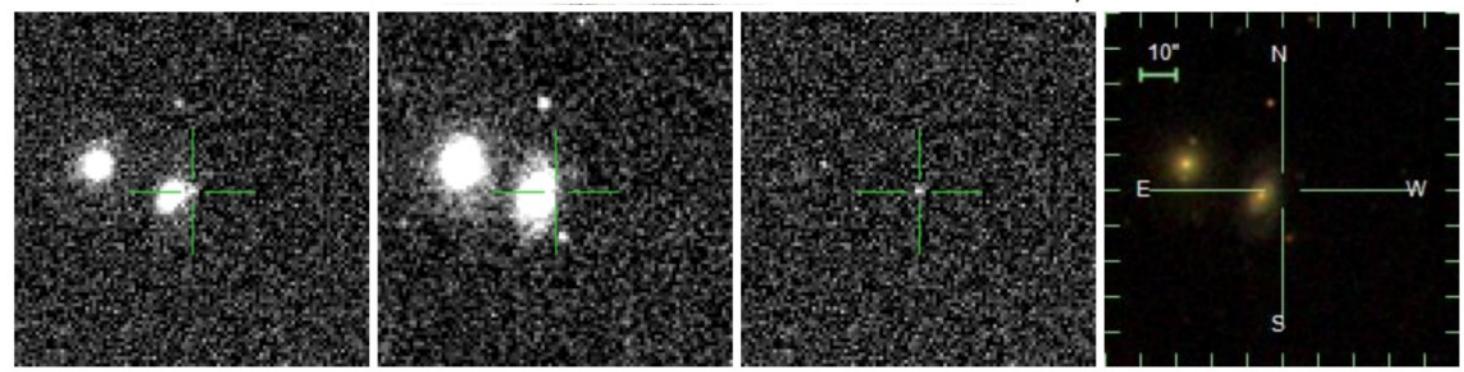
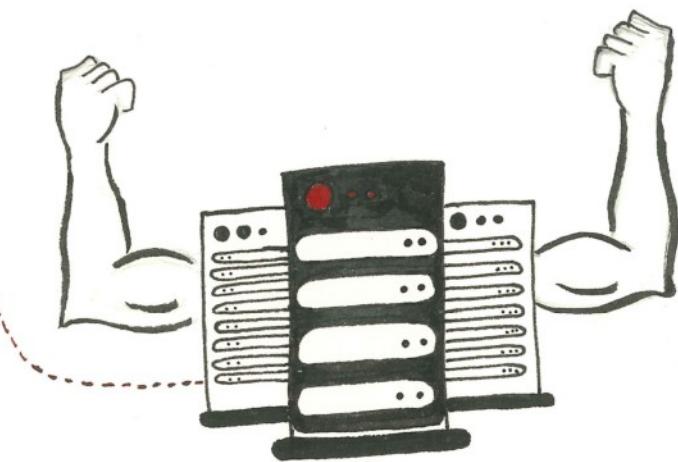


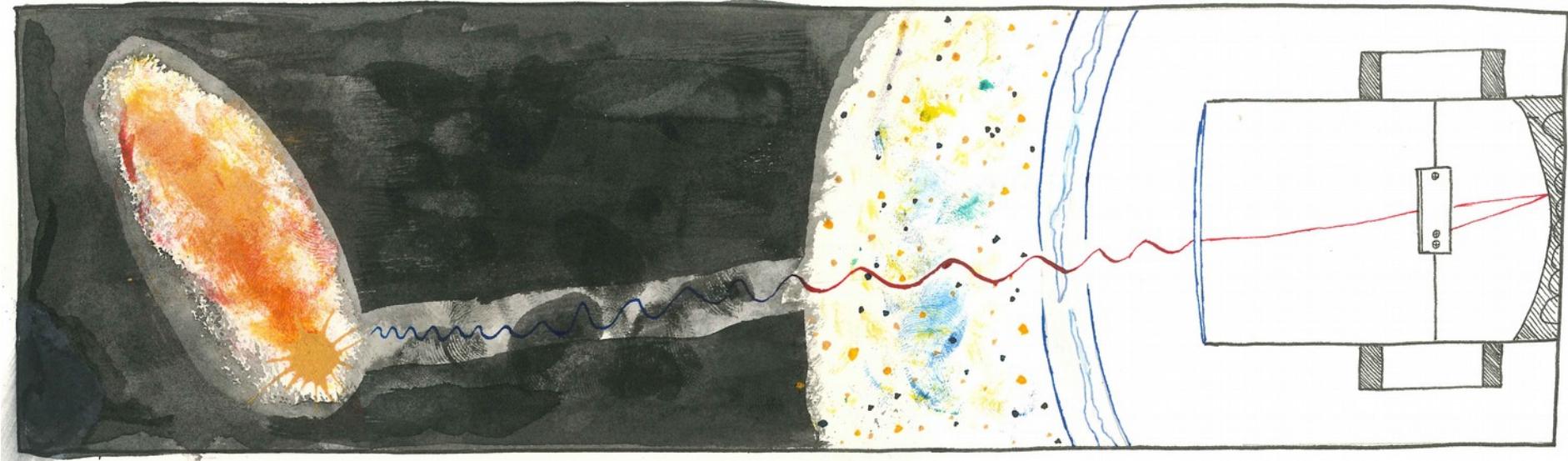
The robotic PTF and iPTF survey telescope P48 took images of the sky almost every day. A supercomputer is then used to look for differences in the images that indicate something new on the sky -a transient, by comparing to reference images. We then use a machine learning algorithm to reduce the number of transients from ~100 000 to ~300 and human scanners to follow-up the most promising targets with a spectrum from one of the global collaboration telescopes.

Κάθε μέρα (2009-2017) το ρομποτικό τηλεσκόπιο P48 των PTF και iPTF έβγαζε εικόνες του ουρανού. Ένας υπερυπολογιστής στη συνέχεια χρησιμοποιείται για να ψάξει για διαφορές στις εικόνες που δείχνουν κάτι νέο στον ουρανό - ένα παροδικό φαινόμενο (transient). Μετά χρησιμοποιούμε έναν αλγόριθμο μηχανικής μάθησης για να μειώσουμε τον αριθμό των πραγματικών παροδικών από ~ 100000 σε ~ 300 και ανθρώπινους σαρωτές οι οποίοι εξετάζουν τις εικόνες και βρίσκουν, μεταξύ άλλων ~ 2 σουπερνόβα την ημέρα.

Det robot PTF- och iPTF-undersöker via teleskopet P48 och tar bilder av himlen nästan varje dag. En superdator används sedan för att leta efter skillnader i bilderna som kan indikera något nytt på himlen - eller övergående, genom att jämföra referensbilder. Vi använder sedan en maskininlärningsalgoritm för att minska antalet transienter från ~ 100 000 till ~ 300 och mänskliga skannrar för att följa upp de mest lovande fynden med ett spektrum från ett av de globala samverkansteleskoperna.

P48, el telescopio robótico de PTF y iPTF tomó imágenes del cielo casi todos los días. Después, un superordenador buscó diferencias en las imágenes que indicaran algo nuevo en el cielo comparando con imágenes de referencia: un tránsito. A continuación, usamos un algoritmo de aprendizaje automático para reducir el número de candidatos de aproximadamente 100 000 a unos 300 al día. El último paso es inspección manual para identificar los objetos más prometedores y marcarlos para tomar espectros y seguirlos con uno de los telescopios de la colaboración mundial.





We identify if a transient is a type Ia supernova using its spectrum. The light has then travelled through the supernova environment, its host galaxy, the interstellar medium, our own galaxy, the atmosphere, the optics of the telescope and through the instrument itself. We try to correct for all these steps but they are not all well understood. Trying to understand all the uncertainties along the way from the supernova light to our telescope is what this thesis is about.

Προσδιορίζουμε εάν ένα παροδικό είναι σουπερνόβα τύπου Ia χρησιμοποιώντας το φάσμα του. Το φως έχει ταξιδέψει τότε δια μέσου του περιβάλλοντος της σουπερνόβα, του ξενιστή γαλαξία, το διαστρικό μέσο, τον δικό μας γαλαξία, την ατμόσφαιρα, τα οπτικά του τηλεσκοπίου και δια μέσου του ίδιου του οργάνου. Προσπαθούμε να κάνουμε διορθώσεις για όλα αυτά τα βήματα αλλά δεν τις κατανοούμε όλες καλά. Το θέμα αυτής της διατριβής είναι ακριβώς η προσπάθεια να κατανοήσουμε όλες τις αβεβαιότητες κατά τη διαδρομή του φωτός από τη σουπερνόβα στο τηλεσκόπιο μας.

Vi identifierar om ett övergående fenomen är en typ Ia-supernova med dess spektrum. Vi följer ljusets färd genom supernovamiljön, dess värdgalax, det interstellära mediet, vår egen galax, atmosfären, teleskopets optik och genom själva instrumentet. Vi försökte korrigera för alla dessa steg. Att försöka förstå alla osäkerheter längs vägen från supernova-ljuset till vårt teleskop är vad den här avhandlingen handlar om.

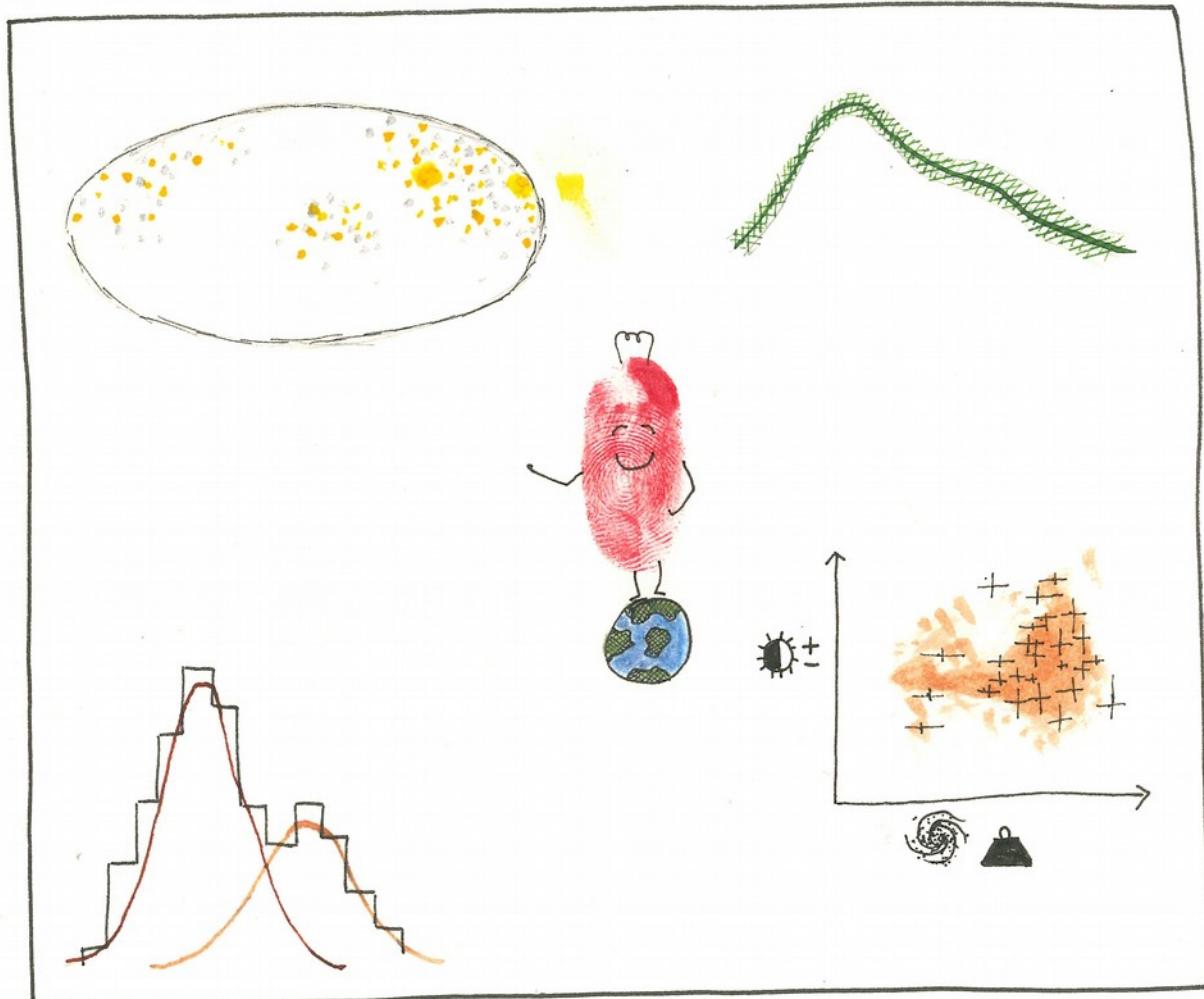
Usamos el espectro del tránsito para identificar las supernovas Ia. La luz ha viajado a través del entorno de la supernova, la galaxia anfitriona, el medio intergaláctico, nuestra propia galaxia, la atmósfera, la óptica del telescopio, y el instrumento en sí. Intentamos corregir todos estos pasos, pero no entendemos todos perfectamente. Intentar entender cada una de las incertidumbres que la luz de la supernova se encuentra en su camino al telescopio es de lo que trata la tesis.

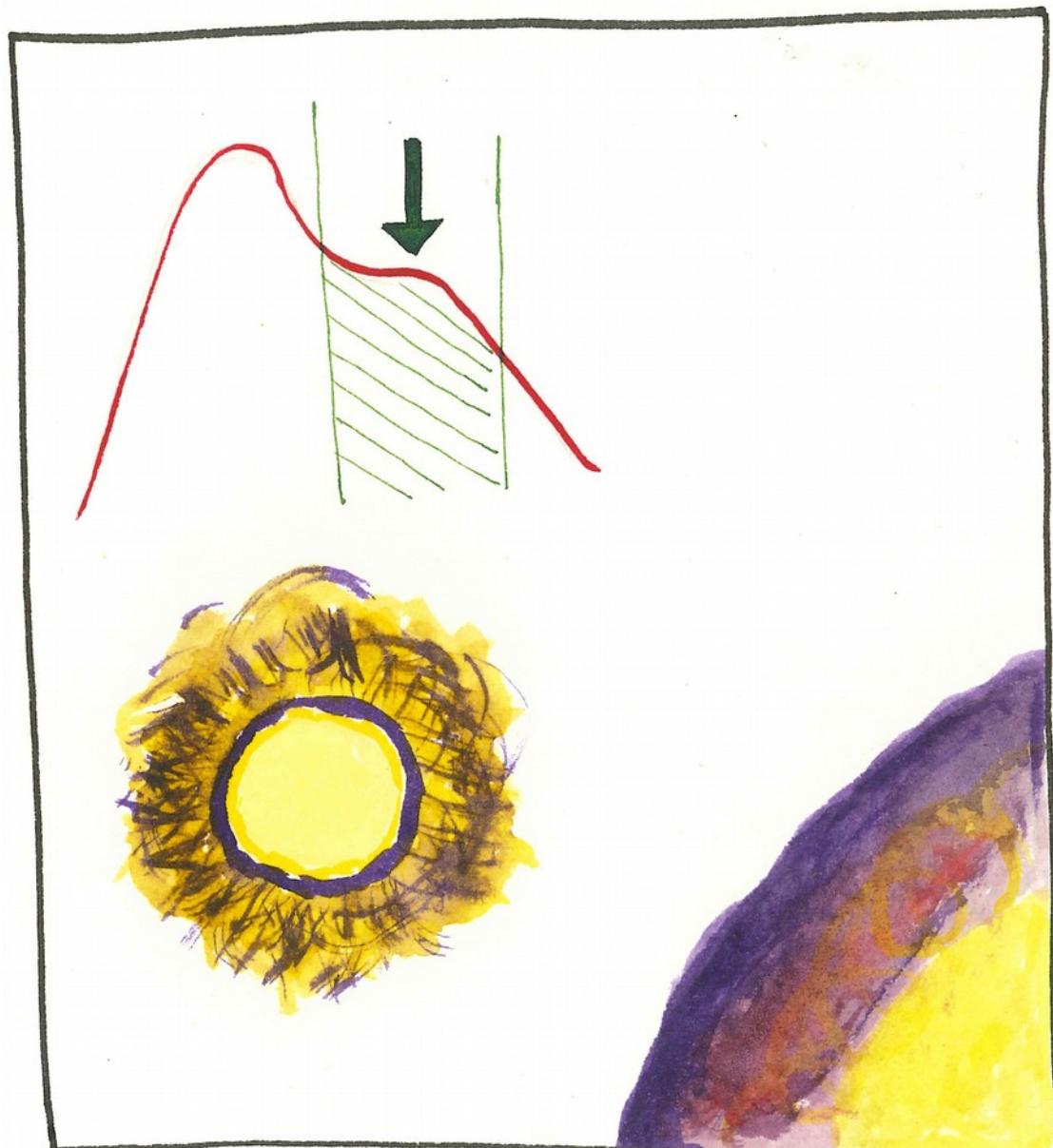
In the first paper we looked at the statistical properties of the light-curves of the supernovae Ia found in PTF and iPTF. Among other things we examined how similar the shape was and if their brightness was linked to the mass of the host galaxy.

Στην πρώτη εργασία κοιτάζαμε τις στατιστικές ιδιότητες της χαμπύλης φωτός των καινοφανών τύπου Ia που βρέθηκαν από το PTF και το iPTF. Μεταξύ άλλων εξετάσαμε τις ομοιότητες του σχήματος και αν η φωτεινότητά τους ήταν συνδεδεμένη με τη μάζα του ξενιστή γαλαξία.

I den första artikeln studerade vi de statistiska egenskaperna hos ljuskurvorna hos supernovorna Ia som hittades i PTF och iPTF. Vi undersökte bland annat hur likformade de var och om deras ljusstyrka var kopplad till värdgalaxens massa.

En el primer artículo estudiamos las propiedades estadísticas de las curvas de luz de las supernovas Ia que PTF e iPTF encontraron. Entre otras cosas, examinamos cómo de similares fueron las formas y si su brillo está relacionado con la masa de la galaxia anfitriona.





Paper II looked at the second bump of the light-curve in the r-band and found that we can use the area underneath it to test different explosion models of type Ia supernovae.

Η εργασία II εξετάζει το δεύτερο «εξόγκωμα» της καμπύλης φωτός στην r-ζώνη και βρήκαμε ότι μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την περιοχή κάτω απ' την καμπύλη για να δοκιμάσουμε διάφορα μοντέλα εκρήξεως του υπερχαινοφανούς τύπου Ia.

Artikel II undersökte den andra bulten av ljuskurvan i r-bandet och då fann vi att vi kan använda området under denna för att testa olika explosionsmodeller av typ Ia-supernovor..

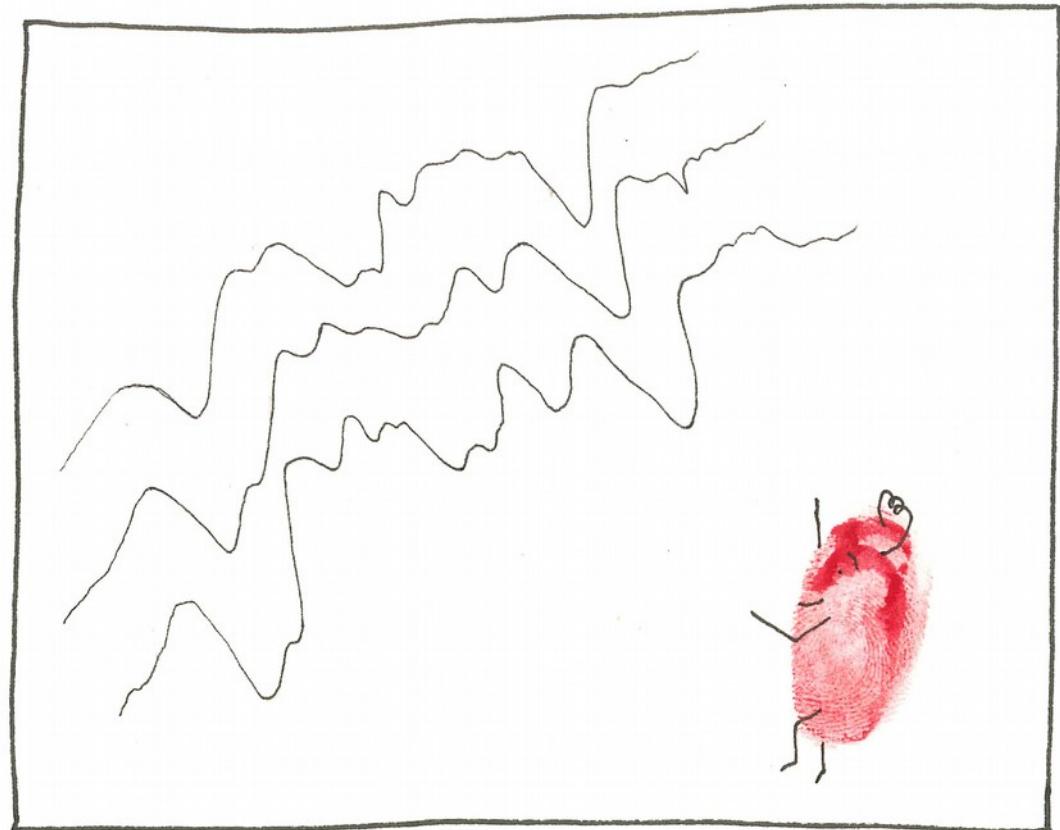
El segundo artículo analizó el segundo bullo de la curva de luz en la banda R y encontró que podemos usar el área bajo la curva para probar diferentes modelos de explosión de supernovas Ia.

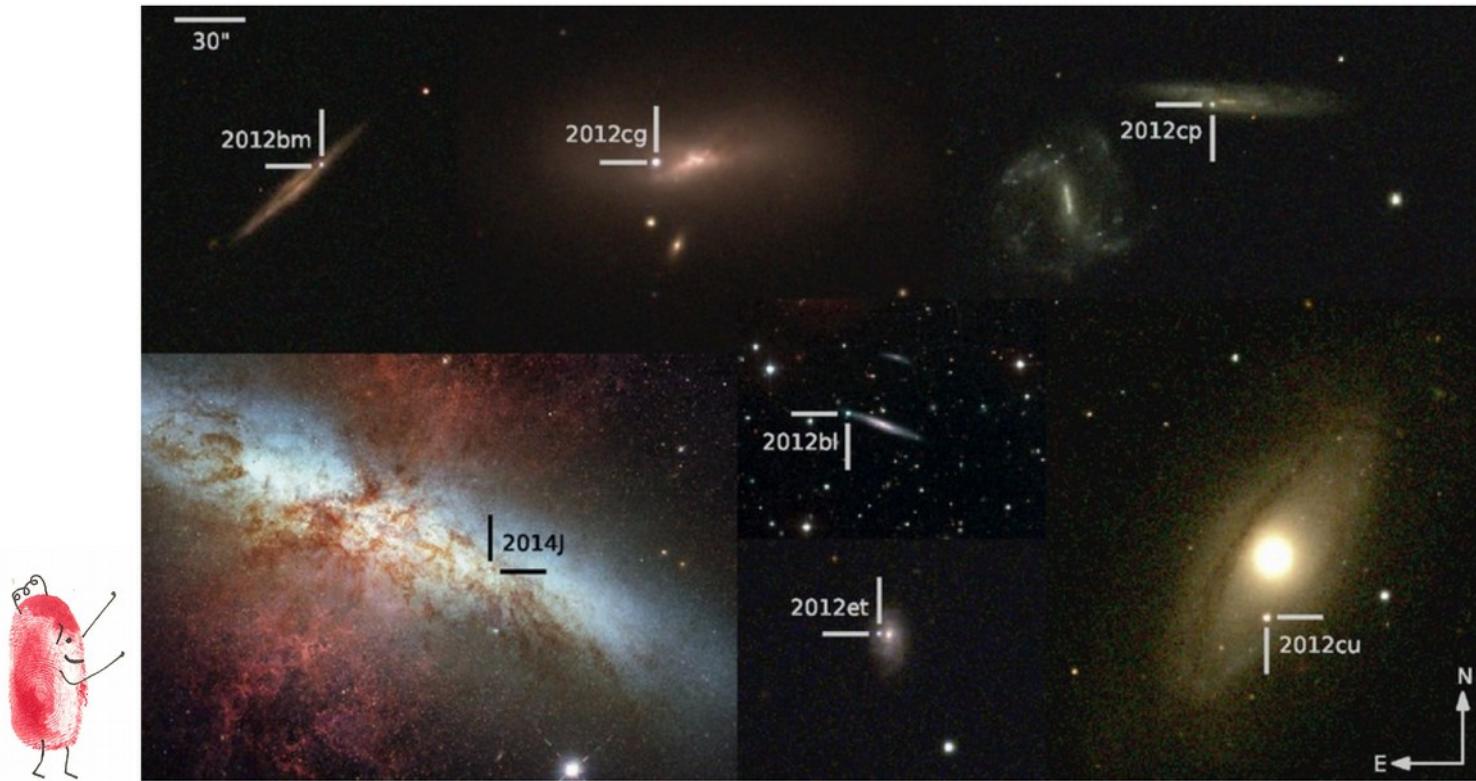
In Paper III we performed statistical analyses on the large sample of spectra from PTF and iPTF to examine if there are links between spectral features, characteristics of the supernovae light-curve and the host galaxy properties.

Στην εργασία III πραγματοποιήσαμε στατιστικές αναλύσεις του μεγάλου δείγματος φασμάτων από το PTF και το iPTF για να εξετάσουμε αν υπάρχουν διασυνδέσεις μεταξύ των φασματοσκοπικών χαρακτηριστικών, των χαρακτηριστικών της καμπύλης φωτός των σουπερνόβα και των ιδιοτήτων του ξενιστή γαλαξία.

I artikel III utförde vi statistiska analyser på det stora spektrumet av spektra från PTF och iPTF för att undersöka om det finns kopplingar mellan spektrala egenskaper, egenskaper hos supernova ljuskurvan och värdgalaxegenskaperna.

El tercer artículo hicimos análisis estadísticos en una gran muestra de espectros de supernovas de PTF e iPTF para examinar si hay relaciones entre características espectrales y propiedades de la galaxia anfitriona.





In Paper IV we looked at how different environments of 6 nearby supernovae host galaxies affect the light we see and found that there is a diversity in the way the light is extinct by dust in the different supernovae.

Στην εργασία IV εξετάσαμε πως διαφορετικά περιβάλλοντα έξι ξενιστών γαλαξιών χοντινών υπερχαινοφανών επηρεάζουν το ορατό φως και βρήκαμε ότι υπάρχει ποικιλομορφία στον τρόπο που το φως εξαφανίζεται από την σκόνη στους διάφορους υπερχαινοφανείς.

I artikel IV undersökte vi hur olika miljöer av 6 närliggande supernova värdvärldar påverkar ljuset vi såg och fann att det finns en mångfald i hur ljuset förstörs av damm i de olika supernovorna.

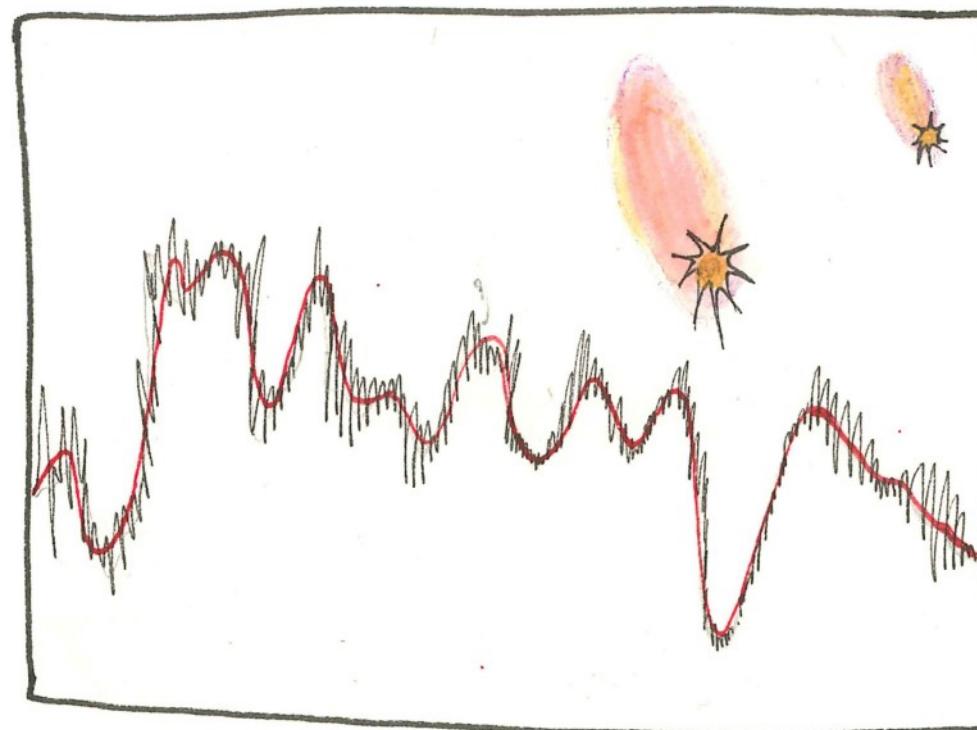
En el cuarto artículo miramos cómo diferentes medios galácticos de seis supernovas cercanas afecta a la luz que vemos y encontramos que hay una diversidad en la forma en la que la luz se extingue por el polvo en las diferentes supernovas.

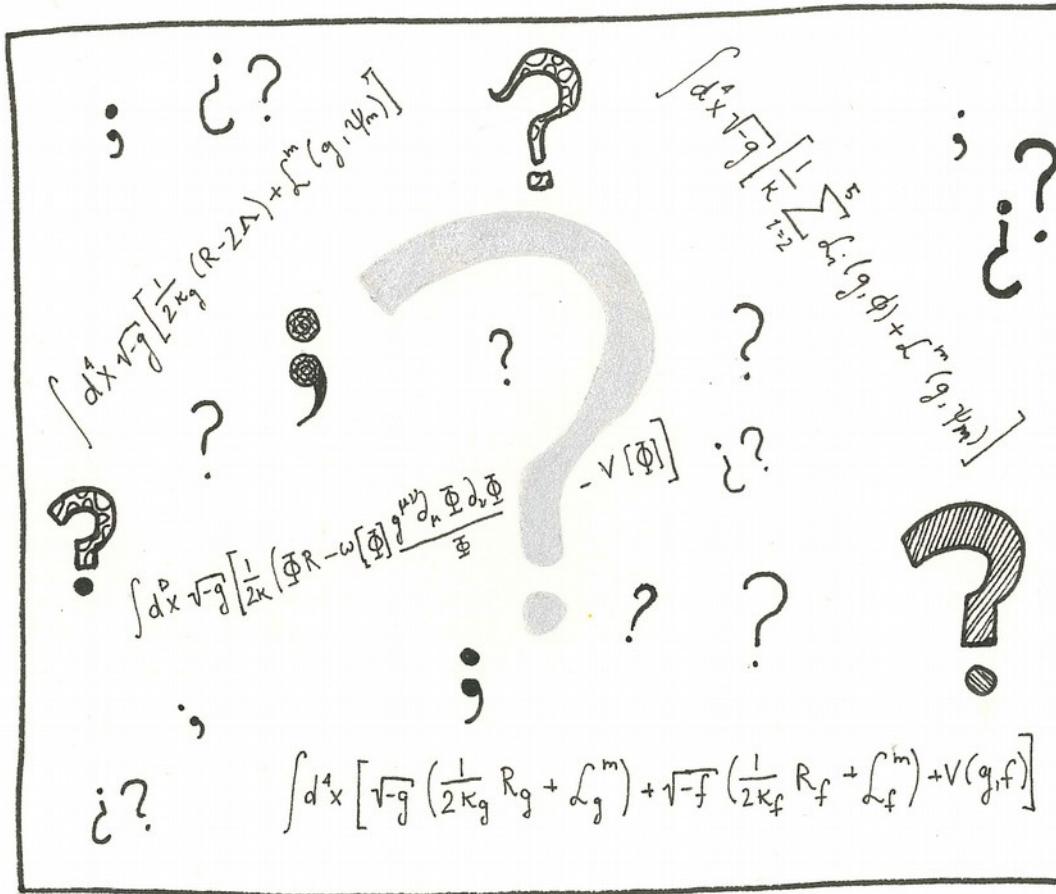
In Paper V we compared a spectrum of a distant lensed supernova to nearby ones to investigate if they are the same and thus can be used as standard candles. We found them to be consistent with one another.

Στην εργασία V συγχρίναμε το φάσμα ενός μακρινού υπερκαινοφανούς με βαρυτικό φακό με κοντινούς υπερκαινοφανείς για να εξετάσουμε εάν είναι τα ίδια κι αν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν κοσμικά χεριά. Βρήκαμε ότι είναι συμβατά μεταξύ τους.

I artikel V jämförde vi ett spektrum av en avlägsen linserad supernova till de närliggande för att undersöka om de är desamma och sålunda kan användas som standardljus. Vi fann att de var förenliga med varandra.

En el quinto artículo tomamos el espectro de una supernova lejana vista a través de una lente gravitacional y lo comparamos con supernovas cercanas para investigar si son iguales, y se pueden usar como candelas estándar. Concluimos que son consistentes.



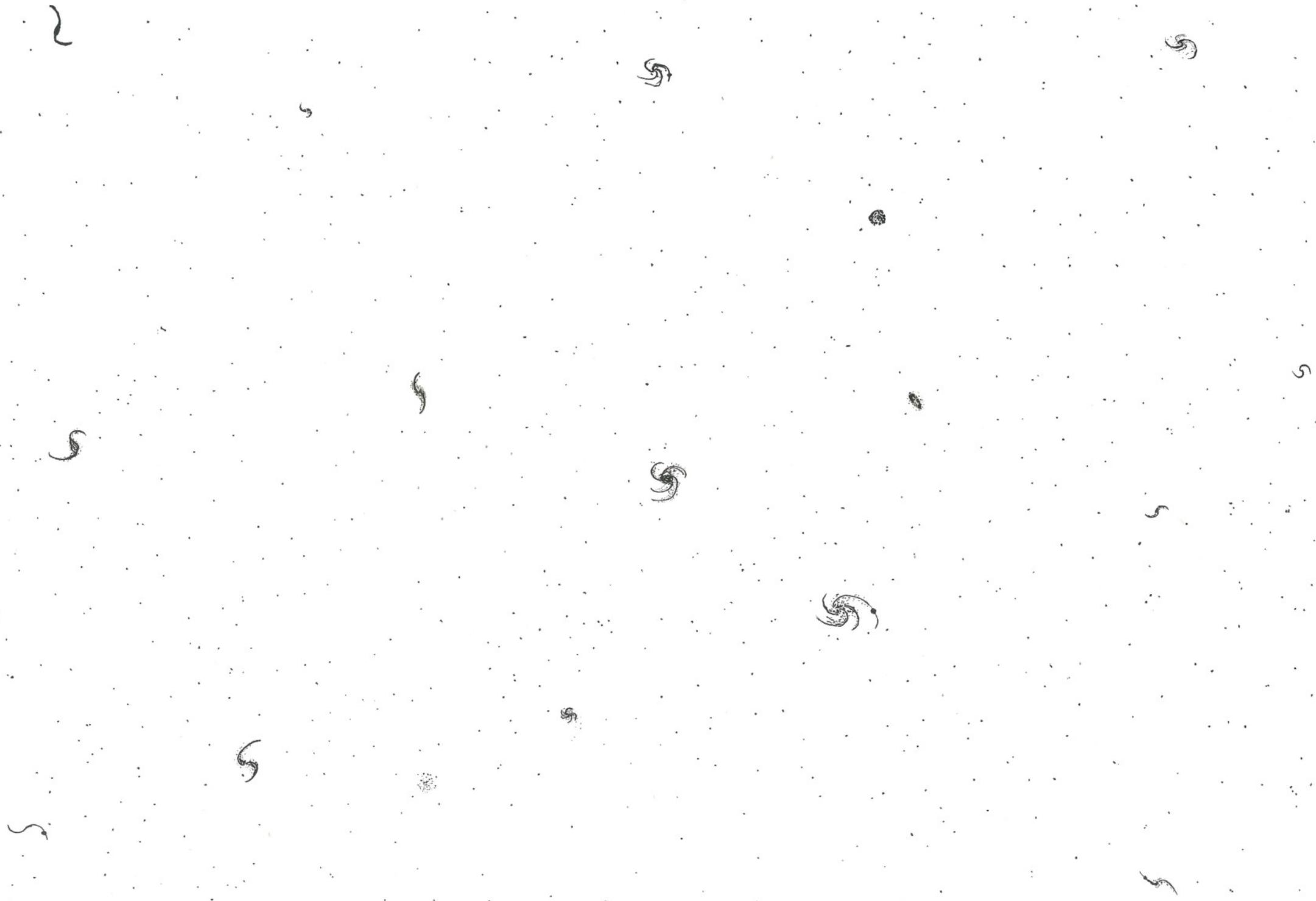


We don't know what is causing the accelerated expansion of the universe which is why we need more precise measurements of the rate of the accelerated expansion with different probes, including type Ia supernovae, in order to differentiate between the different theoretical models.

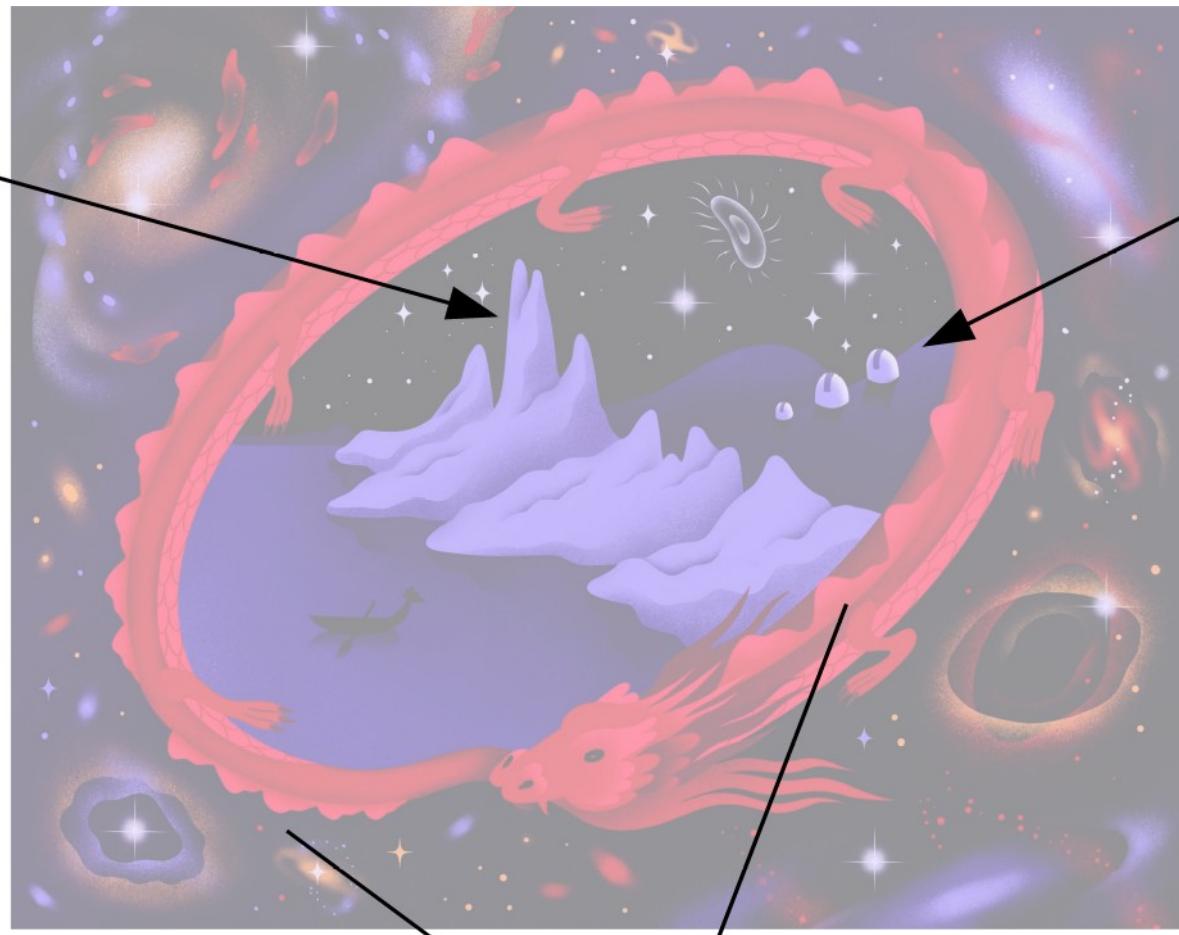
Δεν ξέρουμε τι προκαλεί την επιταχυνόμενη διαστολή του σύμπαντος για αυτό χρειαζόμαστε πιο ακριβείς μετρήσεις του ρυθμού επιτάχυνσης αυτής της διαστολής με διαφορετικά ερευνητικά εργαλεία, συμπεριλαμβανομένων των καινοφανών τύπου Ia, για να κάνουμε διάκριση μεταξύ των θεωρητικών μοντέλων.

Vi vet inte vad som orsakar den accelererade expansionen av universum. Detta gör att vi behöver mer exakta mätningar av hastigheten för den accelererade expansionen av universum med olika sonder, inklusive typ Ia-supernova, för att skilja på olika teoretiska modeller.

No sabemos qué está causando la aceleración en la expansión del universo y por ello, necesitamos diferentes modos para medir la tasa de aceleración de forma más precisa, incluyendo supernovas de tipo Ia, para diferenciar entre los diferentes modelos teóricos.



Spectrum of a type
Ia supernova
Φάσμα υπερκαινοφανών
τύπου Iα
Spektrum av en typ
Ia supernova
Espectro de
supernova de tipo Ia



Palomar observatory
Observatorio de Palomar

Type Ia supernova light-curve
Καμπύλη φωτός υπερκαινοφανών τύπου Iα
Typ Ia supernova ljuskurva
Curva de luz de supernova de tipo Ia